

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-018714

(43)Date of publication of application : 26.01.1993

(51)Int.Cl.

G01B 11/00

(21)Application number : 03-170196

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 10.07.1991

(72)Inventor : TAKEMORI TAMIKI

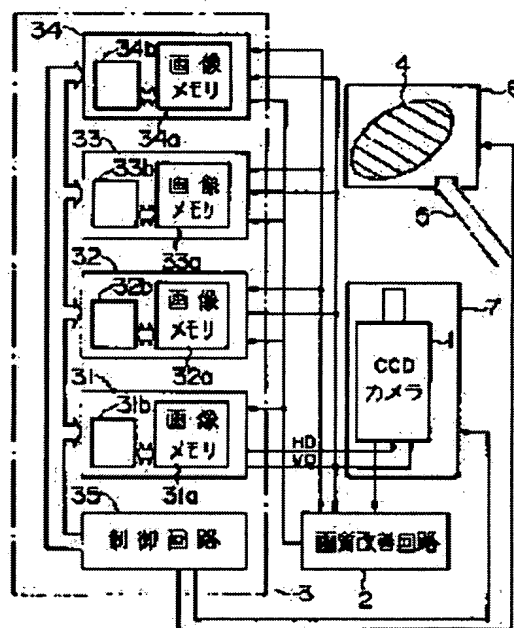
FUJITA KATSUYOSHI

(54) SPECKLE IMAGE DISPLACEMENT MEASURING APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To make the measured value of resolution below the distance of picture elements of an image sensor to take a speckle image accurate by correcting the displacement degree using a correction table corresponding to the speckle average diameter.

CONSTITUTION: Image signals of a CCD camera 1 are converted into improved image signals by an image improving circuit 2 and sent to image processing units 31-34 in parallel. A control circuit 35 makes parameters of the number of blocks to be traced, sizes, and positions be written in memories in controlling parts 31b-34b and makes measurement be started. Also it makes the units 31-34 start in parallel. The units 31-34 then take in speckle images, which are images treated for image improvement, and carry out calculation for each block and write the results of finishing flags and displacement in specified address. The circuit 35 takes in the results of the displacement from the units 31-34 continuously and houses them as displacement distribution and strain distribution after removing the errors based on the speckle average diameter while using a correction table.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.10.1997

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other
than the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2898124

[Date of registration] 12.03.1999

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the equipment for measuring the variation rate (movement magnitude) of the speckle image which appears when laser light is irradiated at a body, i.e., speckle image displacement measurement equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] When laser light is irradiated in a body split face, the punctate pattern called a speckle image to the space by the side of an echo appears. Since this speckle image moves by fixed relation in connection with an objective variation rate (variation rate), it can know the objective amount of displacement by non-contact by measuring the variation rate of a speckle image (for example, JP,61-27681,B).

[0003] On the other hand, the approach using whenever [with the image (image before migration) of criteria and a current image (image after migration) / coincidence] as an assessment value is learned as displacement mensuration of an image. That is, it calculates 1 pixel of assessment values about whenever [coincidence / of a cross-correlation function, the sum of squares of a difference, the absolute value sum of a difference, etc.] at a time by shifting them about a current image, two images, i.e., the criteria image, caught with an image sensor like CCD series, and the approach of making the highest location of whenever [coincidence] the variation rate (movement magnitude) of an image is learned. And further, in order to raise resolution, used the assessment value of the highest location of whenever [coincidence], and the assessment value of the location of the circumference of it, parabola approximation etc. was made to recur, the location of the top-most vertices was presumed, and the resolution below the sampling period of a pixel is attained (interpolation).

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when it asked for the variation rate with the resolution below pixel spacing using such a interpolation numerical orientation method, the error resulting from a speckle image being a spot image arose, and sufficient accuracy of measurement was not necessarily able to be obtained.

[0005]

[Means for Solving the Problem] In view of such a problem, it succeeds in this invention. In the speckle image displacement measurement equipment measured below with the sampling period of the pixel of image sensors by making into an assessment value whenever [image data / before moving the movement magnitude of the speckle image projected on image sensors / and image data's after migration coincidence] It has two or more amendment tables which responded to the speckle pitch diameter, and a means to amend the measured variation rate using one amendment table chosen from said two or more amendment tables. Moreover, it is desirable to have the adjustment means of a speckle pitch diameter.

[0006]

[Function] If it asks for a variation rate with the resolution below pixel spacing using a interpolation numerical orientation method, a periodic error will arise between the amount of actual displacement, and the amount of displacement obtained by measurement. And it discovered that the magnitude of this error changed with speckle pitch diameters by research of artificers. Then, two or more

amendment tables according to a speckle pitch diameter are prepared, and if it asks for the speckle pitch diameter of the speckle image measured in advance of measurement, the amount of displacement measured on the amendment table corresponding to the speckle pitch diameter can be amended, and it can ask for a more exact variation rate. Moreover, if it has the control means of a speckle pitch diameter, since a speckle pitch diameter can be adjusted according to a desired amendment table, strict amendment can be performed and the amount of displacement after amendment will become much more exact.

[0007]

[Example] Drawing 1 is the block diagram showing the displacement measurement equipment of the speckle image which is one example of this invention. This equipment consists of image displacement calculation circuits 3 as CCD camera 1 and the image quality improvement circuit 2. Here, a screen size is [512x512 pixels and pixel size] 11x11 micrometers, and the interlace of 25 frames / sec is used for CCD camera 1. The image displacement calculation circuit 3 consists of four image-processing units 31-34 and a control circuit 35 which performs predetermined data processing while controlling these. Each image-processing unit 31-34 is equipped with control-section 31b-34b which controls by being image memory (Video RAM) 31a-34a and its data write-in reading, respectively.

[0008] Here, how the image displacement calculation circuit 3 presumes the variation rate (movement magnitude) of two images with the resolution below a pixel is explained using drawing 2. First, the block (here 3x3 pixels) of the magnitude of arbitration is set as the location of the arbitration of a speckle image. Next, as shown in (1) type, the absolute value of the block image D after displacement (x y) and the difference between each pixel is integrated on the basis of the larger (here 5x5 pixels) image R (x y) than the block before displacement.

[0009]

[Equation 1]

$$S(u,v) = \sum_i \sum_j |D(x_i - u, y_j - v) - R(x_i, y_j)| \quad \dots (1)$$

[0010] And it shifts 1 pixel of locations at a time, and multiple-times activation of this addition processing is carried out. It is shown that shifted drawing 2 (a), (b), and (c) twice in the x directions, and they performed addition processing 3 times. And drawing 2 (d) shows the value of the addition result S (u, v) for every location. The minimum addition result S when the same as the sampling period which is a pixel about resolution, and enough (u, v) It can ask for the variation rate before and after migration of a speckle image (movement magnitude) from the obtained location (umin, vmin). Here, further, in order to obtain the resolution below the sampling period of a pixel, it asks for the parabola which passes the values S (umin-1 and vmin) and S (umin+1 and vmin) of the location which adjoins the minimum value S (umin and vmin), and the location of the top-most vertices is presumed below at spacing of a pixel. In addition, although addition processing is only carried out only about x directions, if parabola recursion is performed in quest of S (umin, vmin-1) and S (umin, vmin+1) also to the direction of y, the location of the direction of y can also be presumed with the resolution below spacing of a pixel here.

[0011] By the way, if it is going to obtain the resolution below pixel spacing using such a interpolation numerical orientation method, it is not in agreement with a actual variation rate that a speckle image is a spot pattern owing to. And it turned out that extent of the inequality is influenced by the magnitude of a speckle pitch diameter. Drawing 3 (a), (b), and (c) are as a result of [which shows this situation] measurement. In these drawings, an axis of abscissa shows an objective variation rate, and the axis of ordinate shows the variation rate of the speckle image measured using above-mentioned interpolation. As for this drawing (c), in this drawing (b), in the case of 14 micrometers, drawing 3 (a) shows the case of 20 micrometers, when a speckle pitch diameter is 10 micrometers. Although the variation rate of a speckle image must be essentially linear to migration (inside of a field variation rate) of a body, it turns out that it moves in a zigzag direction in any case. Moreover, it turns out that extent of meandering is so large that a speckle pitch diameter is small. Then, the image displacement calculation circuit 3 is equipped with a means to amend according to a speckle pitch diameter to the measurement result of the variation rate obtained by the interpolation mentioned above. That is, it has two or more amendment tables which responded to the speckle pitch

diameter, and an operation means to amend using one of the amendment tables to the variation rate obtained by interpolation.

[0012] A speckle pitch diameter is determined by three elements of the wavelength of the f number (drawing) of CCD camera 1, an image formation scale factor, and laser light when it has a lens image formation system (when using a camera lens). That is, if the f number of a CCD camera is set to F and wavelength of λ and laser light is set to λ for an image formation scale factor, a speckle pitch diameter can be expressed with $\lambda(1+m)F$. The f number can use and detect an encoder on a camera lens. Since an image formation scale factor is decided by arrangement of optical system, it can mark and measure the location of each part article which constitutes optical system. Moreover, the wavelength of laser light can be known from a laser oscillator. On the other hand, the speckle pitch diameter when not using a camera lens will be given by $0.6L\lambda/D$, if wavelength of λ and laser light is set to λ for the diameter [in / for the distance of a body 4 and CCD camera 1 / L and the body exposure section] of a laser beam. The diameter of a laser beam should just measure a laser beam, after branching by the half mirror. As the detection approach of others of a speckle pitch diameter, some profiles of a speckle image on the strength are taken and investigated, or the autocorrelation of a speckle image is taken, the correlation value profile is taken, and the approach which has investigated enough and is carried out can be considered.

[0013] As for the image data given to the image displacement calculation circuit 3, it succeeds in the image quality improvement in the image quality improvement circuit 2. The shot noise at the time of CCD read-out and the noise in an analog line are mixed in the image data outputted from CCD camera 1. Therefore, in the image displacement calculation circuit 3, if it calculates using the image data outputted from CCD camera 1 as it is, since a noise will also be integrated, the dependability of the value of the addition result $S(u, v)$ is low. Therefore, when the location of the top-most vertices of a recursion parabola is presumed below at spacing of a pixel using the result, the error based on a noise is dramatically large. The image quality improvement circuit 2 is a circuit for removing the shot noise at the time of CCD read-out, and the noise in an analog line from image data, and performs equalization (recursive call filter) processing of an image as shown by (2) formulas.

[0014]

$$V_n = V_{n-1} + (V_{in} - V_{n-1}) / N \quad (2)$$

here -- V_n : An output image and V_{n-1} : The output image of one frame ago, a V_{in} :input image, and N :equalization arithmetic it is . By equalizing this image, reduction of random noise which was mentioned above from the image can be aimed at.

[0015] Below, actuation by whole this example is explained. The laser light 5 from the helium-Ne laser (50mW) which carried out the graphic display abbreviation is collimated, and a body 4 is irradiated. CCD camera 1 catches the speckle image produced by the exposure of this laser light 5. The picture signal with which CCD camera 1 picturized and was obtained is changed into the improvement picture signal with which image quality improvement processing was performed in the image quality improvement circuit 2, and a parallel input is carried out to each image-processing unit 31-34. The image-processing unit 31 of the 1st sheet outputs Horizontal Synchronizing signal HD and Vertical Synchronizing signal VD to the image-processing unit 32-34 and CCD camera 1 as other slaves as a master. In each image-processing unit, control-section 31b-34b which consists of a 32-bit CPU controls the address generation of image memory 31a-34a in hard, and performs selection of an external synchronization and an internal synchronization, and setting out of a horizontal and vertical blanking period.

[0016] A control circuit 35 writes the parameter of the number of the blocks to pursue, size, and a location in the memory in control-section 31b-34b to each image-processing unit 31-34, makes measurement start, and carries out juxtaposition actuation of each image-processing unit 31-34. Each image-processing unit 31-34 captures the speckle image with which image improvement processing was performed, performs count of (1) type about each block, and writes the result of an ending flag and a variation rate in the specific address. A control circuit 35 is stored as displacement distribution and distortion distribution, after incorporating a displacement result continuously and removing the error based on a speckle pitch diameter from each image-processing unit 31-34 using an amendment table. Drawing 4 (a) is a graph which shows the raw data of the variation rate obtained using interpolation, and this drawing (b) is a graph which shows the result amended using the amendment

table chosen according to the speckle pitch diameter at that time. In both graphs, an axis of abscissa shows objective movement magnitude (inside of a field variation rate), and an axis of ordinate shows a measurement result at intervals of a pixel.

[0017] In addition, if CPU aiming at graphic display is used for control-section 31b-34b, block transfer of the image for criteria etc. can be performed in hard by writing the source, the destination, and size in a specific register. Moreover, count of (1) type can aim at reduction of the processing time by constructing by the assembler.

[0018] When a speckle pitch diameter is the middle value of the speckle pitch diameter corresponding to two or more amendment tables currently prepared beforehand, the nearest amendment table is adopted and amended, or the average of the amendment table of a nearby complement will be calculated and it will amend using the result. On the other hand, if it has the control means of a speckle pitch diameter, since a speckle pitch diameter can be adjusted according to a desired amendment table, strict amendment can be performed and the amount of displacement after amendment will become much more exact. There is the approach of using tunable laser for the laser light source, and controlling wavelength as the control approach of a speckle pitch diameter. Moreover, in using a camera lens, the approach and each optic which control the f number using the camera lens which can control the f number (drawing) automatically are put on a base with automatic guide functions, such as a linear stage, and there is the approach of adjusting the location of each optic and controlling an image formation scale factor. In not using a camera lens, a camera is put on a linear stage and there is a method of adjusting a beam diameter etc. by letting the revolution aperture of working pass for the approach and laser beam which adjust only distance, without controlling this and changing an objective angular relation-ship. A control device 35 can control the linear stages 6 and 7 now by the example shown in drawing 1.

[0019]

[Effect of the Invention] Since the measured amount of displacement is amended using the amendment table corresponding to a speckle pitch diameter according to the speckle image displacement measurement equipment of this invention as explained above, it can ask for a more exact variation rate. Moreover, if it has the control means of a speckle pitch diameter, since a speckle pitch diameter can be adjusted according to a desired amendment table, strict amendment can be performed and the amount of displacement after amendment will become much more exact.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the speckle image displacement measurement equipment measured below with the sampling period of the pixel of image sensors by making into an assessment value whenever [image data / before moving the movement magnitude of the speckle image projected on image sensors / and image data's after migration coincidence] Speckle image displacement measurement equipment characterized by having two or more amendment tables which responded to the speckle pitch diameter, and a means to amend the measured variation rate using one or two amendment tables or more which were chosen from said two or more amendment tables.

[Claim 2] Speckle image displacement measurement equipment according to claim 1 characterized by having a means to adjust the speckle pitch diameter of a speckle image.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram showing the speckle image displacement measurement equipment which is one example of this invention.

[Drawing 2] Drawing showing how the image displacement calculation circuit 3 presumes the variation rate (movement magnitude) of two images a with the resolution below pixel spacing (interpolation).

[Drawing 3] migration of a body and a speckle image -- the graph which shows relation with the measured value of a variation rate.

[Drawing 4] migration of a body and a speckle image -- the graph which shows the relation between the measured value of a variation rate, and its correction value.

[Description of Notations]

- 1 -- CCD camera
- 2 -- Image quality improvement circuit
- 3 -- Image displacement calculation circuit
- 5 -- Body

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

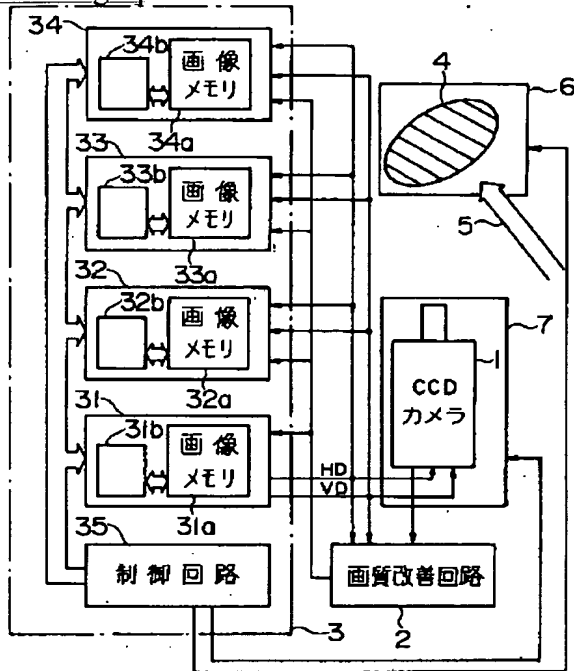
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

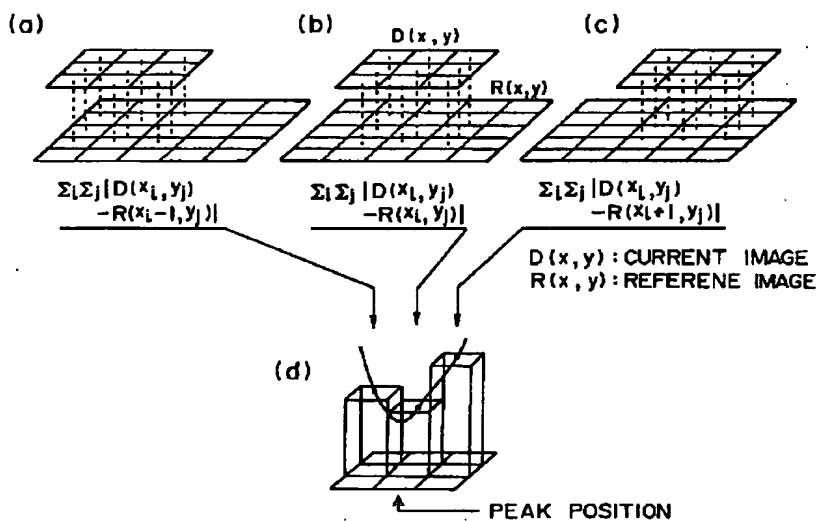
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

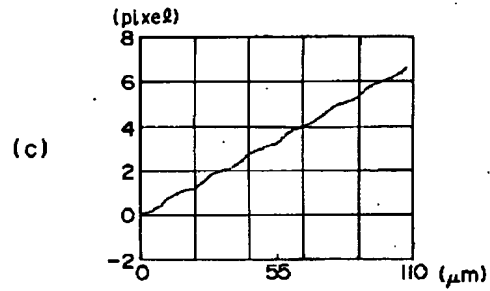
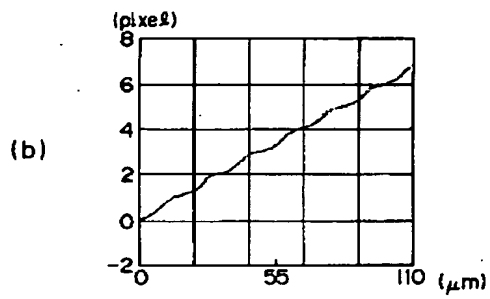
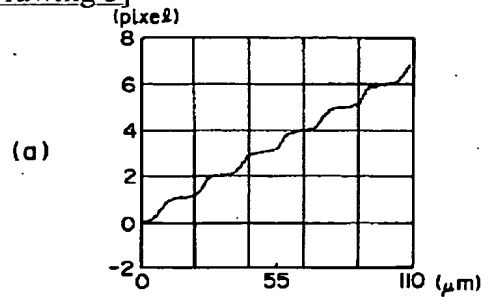
[Drawing 1]



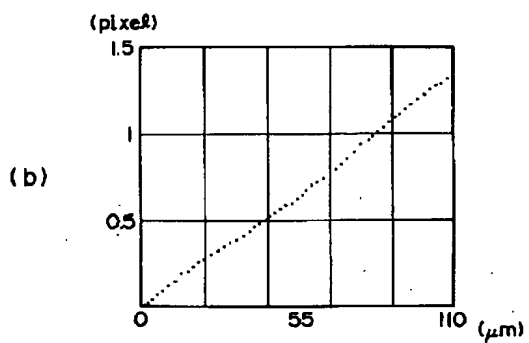
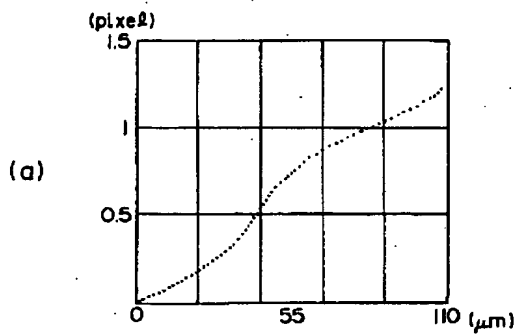
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CORRECTION OR AMENDMENT

[Kind of official gazette] Printing of amendment by the convention of 2 of Article 17 of Patent Law
 [Category partition] The 1st partition of the 6th category
 [Publication date] April 9, Heisei 11 (1999)

[Publication No.] Publication number 5-18714
 [Date of Publication] January 26, Heisei 5 (1993)
 [Annual volume number] Open patent official report 5-188
 [Application number] Japanese Patent Application No. 3-170196
 [International Patent Classification (6th Edition)]

G01B 11/00

[FI]

G01B 11/00 H
 F

[Procedure amendment]
 [Filing Date] October 6, Heisei 9
 [Procedure amendment 1]
 [Document to be Amended] Description
 [Item(s) to be Amended] 0014
 [Method of Amendment] Modification
 [Proposed Amendment]
 [0014]

$V_n = V_{n-1} + (V_{in} - V_{n-1}) / N$ -- (2)

It is V_n here. : An output image, V_{n-1} : The output image of one frame ago, a V_{in} :input image, N: It is the number of average addition. By equalizing this image, reduction of random noise which was mentioned above from the image can be aimed at.

[Procedure amendment 2]
 [Document to be Amended] Description
 [Item(s) to be Amended] Explanation of a sign
 [Method of Amendment] Modification
 [Proposed Amendment]
 [Description of Notations]
 1 -- CCD camera
 2 -- Image quality improvement circuit
 3 -- Image displacement calculation circuit
 5 -- Laser beam

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-18714

(43)公開日 平成5年(1993)1月26日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 1 B 11/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 7625-2F

F 7625-2F

審査請求 未請求 請求項の数2(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平3-170196

(22)出願日 平成3年(1991)7月10日

(71)出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72)発明者 竹森 民樹

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

(72)発明者 藤田 勝吉

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

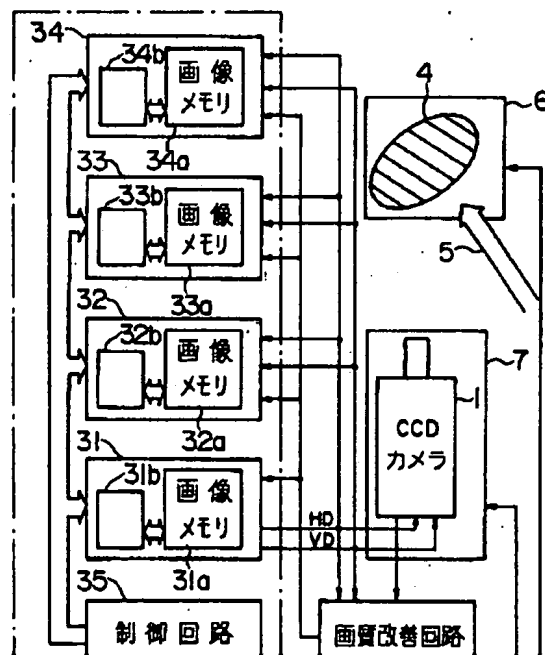
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 スペックル画像変位測定装置

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 スペックル画像を撮像するイメージセンサの画素間隔以下の分解能でスペックル画像の変位を測定する装置において、スペックル平均径の影響を除去された測定値を得ることを目的とする。

【構成】 イメージセンサを内蔵するCCDカメラ1と、このCCDカメラ1が出力する画像データに対して画質改善処理を施し改善画像データとして出力する画質改善手段2と、イメージセンサ上に映し出された画像のうち、測定すべき移動量の移動前の画像と移動後の画像に関する改善画像データを記憶し、両改善画像データの一緻度を評価値としてイメージセンサの画素間隔以下で算出する画像変位算出手段3とを備えている。画像変位算出回路3は、スペックル平均径に応じた複数の補正テーブルと、測定した変位を前記複数の補正テーブルの中から選択された1つの補正テーブルを用いて補正する手



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 イメージセンサ上に映し出されたスペckル画像の移動量を移動前の画像データと移動後の画像データの一致度を評価値としてイメージセンサの画素のサンプリング間隔以下で測定するスペckル画像変位測定装置において、

スペckル平均径に応じた複数の補正テーブルと、測定した変位を前記複数の補正テーブルの中から選択された1つまたは2つ以上の補正テーブルを用いて補正する手段とを備えたことを特徴とするスペckル画像変位測定装置。

【請求項2】 スペckル画像のスペckル平均径を調整する手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のスペckル画像変位測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、物体にレーザー光を照射したときに現れるスペckル画像の変位（移動量）を測定するための装置、すなわち、スペckル画像変位測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】レーザー光を物体粗面に照射したときに、反射側の空間にスペckル画像と呼ばれる斑点状のパターンが現れる。このスペckル画像は、物体の変位に伴って一定の関係で移動（変位）することから、スペckル画像の変位を測定することにより、物体の変位量を非接触で知ることができる（例えば、特公昭61-27681号公報）。

【0003】一方、画像の変位計測法として、基準の画像（移動前の画像）と現在の画像（移動後の画像）との一致度を評価値として用いる方法が知られている。すなわち、CCDイメージセンサのような撮像素子で捕らえた2つの画像すなわち基準画像と現在の画像について、相互相関関数、差の二乗和、差の絶対値和などの一致度に関する評価値を1画素ずつずらして計算し、一致度の一番高い位置を画像の変位（移動量）とする方法が知られている。そしてさらに、分解能を上げるために、一致度の一番高い位置の評価値とその周辺の位置の評価値を用いて放物線近似などに回帰させ、その頂点の位置を推定して、画素のサンプリング間隔以下の分解能を達成している（補間法）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このような補間計算法を用いて画素間隔以下の分解能で変位を求めると、スペckル画像が斑点画像であることに起因する誤差が生じ、必ずしも十分な測定精度を得ることができなかった。

【0005】

2

*【課題を解決するための手段】本発明は、このような問題に鑑みて為されたものであり、イメージセンサ上に映し出されたスペckル画像の移動量を移動前の画像データと移動後の画像データの一致度を評価値としてイメージセンサの画素のサンプリング間隔以下で測定するスペckル画像変位測定装置において、スペckル平均径に応じた複数の補正テーブルと、測定した変位を前記複数の補正テーブルの中から選択された1つの補正テーブルを用いて補正する手段とを備えたものである。また、スペckル平均径の調整手段を備えることが望ましい。

【0006】

【作用】補間計算法を用いて画素間隔以下の分解能で変位を求めると、実際の変位量と測定により得られた変位量との間に周期的な誤差が生じる。そして、発明者らの研究によって、この誤差の大きさはスペckル平均径によって異なることを発見した。そこで、スペckル平均径に応じた補正テーブルを複数用意しておき、測定に先だって測定されるスペckル画像のスペckル平均径を求めれば、そのスペckル平均径に対応した補正テーブルで測定した変位量を補正でき、より正確な変位を求めることができる。また、スペckル平均径の制御手段を備えておれば、所望の補正テーブルに合わせてスペckル平均径を調整することができるため、厳密な補正ができ、補正後の変位量は一層正確なものとなる。

【0007】

【実施例】図1は、本発明の一実施例であるスペckル画像の変位測定装置を示すブロック図である。この装置は、CCDカメラ1と画質改善回路2と画像変位算出回路3で構成されている。CCDカメラ1は、ここでは画面サイズが512×512画素、画素サイズが11×11μmであり、25フレーム/secのインターレース方式を採用している。画像変位算出回路3は、4つの画像処理ユニット31-34と、これらを制御すると共に所定の演算処理を行う制御回路35で構成されている。各画像処理ユニット31-34は、それぞれ画像メモリ（ビデオRAM）31a-34aとそのデータ書き込み読みだし制御を行う制御部31b-34bを備えている。

【0008】ここで、画像変位算出回路3が2つの画像の変位（移動量）を画素以下の分解能で推定する方法を図2を用いて説明する。まず、スペckル画像の任意の位置に任意の大きさのブロック（ここでは、3×3画素）を設定する。次に、(1)式に示すように、変位前のブロックよりも大きい（ここでは5×5画素）画像R(x, y)を基準とし、変位後のブロック画像D(x, y)と各画素間の差分の絶対値を積算する。

【0009】

【数1】

$$S(u, v) = \sum_i \sum_j |D(x_i - u, y_i - v) - R(x_i, y_i)| \quad \dots (1)$$

3

【0010】そして、この積算処理を位置を1画素ずつずらして複数回実行する。図2(a)、(b)、(c)は、x方向に2回ずらして積算処理を3回行ったことを示している。そして、図2(d)は、積算結果 $S(u, v)$ の値を位置毎に示している。分解能を画素のサンプリング間隔と同じで十分の場合には、最小の積算結果 $S(u, v)$ が得られた位置 (u_{min}, v_{min}) からスペckル画像の移動の前後における変位(移動量)を求めることができる。ここではさらに、画素のサンプリング間隔以下の分解能を得るために、最小値 $S(u_{min}, v_{min})$ と隣接する位置の値 $S(u_{min}-1, v_{min})$ 、 $S(u_{min}+1, v_{min})$ を通過する放物線を求め、その頂点の位置を画素の間隔以下で推定する。なお、ここでは、x方向についてのみ積算処理をしているだけであるが、y方向に対しても $S(u_{min}, v_{min}-1)$ 、 $S(u_{min}, v_{min}+1)$ を求め放物線回帰を行えば、y方向の位置も画素の間隔以下の分解能で推定できる。

【0011】ところで、このような補間計算法を用いて画素間隔以下の分解能を得ようとすると、スペckル画像が斑点模様であることが原因で、実際の変位と一致しない。そして、その不一致の程度は、スペckル平均径の大きさに左右されることがわかった。図3(a)

(b)(c)はこの様子を示す測定結果である。これらの図において、横軸は物体の変位を示し、縦軸は上述の補間法を用いて測定したスペckル画像の変位を示している。図3(a)はスペckル平均径が $10\mu m$ の場合、同図(b)は $14\mu m$ の場合、同図(c)は $20\mu m$ の場合を示している。スペckル画像の変位は、物体の移動(面内変位)に対して本来はリニアでなければならないが、いずれの場合も蛇行してしまうことがわかる。また、蛇行の程度は、スペckル平均径が小さいほど大きいことがわかる。そこで、画像変位算出回路3は、上述した補間法によって得た変位の測定結果に対してスペckル平均径に応じて補正する手段を備えている。すなわち、スペckル平均径に応じた複数の補正テーブルと、補間法によって得た変位に対して補正テーブルの一つを用いて補正する演算手段とを備えている。

【0012】スペckル平均径は、レンズ結像系を有する場合(カメラレンズを使用する場合)には、CCDカメラ1のFナンバー(絞り)、結像倍率、レーザー光の波長の3つの要素で決定される。すなわち、CCDカメラのFナンバーをF、結像倍率をm、レーザー光の波長を λ とすると、スペckル平均径は $(1+m)\lambda F$ で表すことができる。Fナンバーはカメラレンズにエンコーダーを用いて検出することができる。結像倍率は光学系の配置により決まるので光学系を構成している各部品の位置をマークして測定することができる。また、レーザー光の波長は、レーザー発振器から知ることができる。

4

径は、物体4とCCDカメラ1との距離を L 、物体照射部におけるレーザービーム径を D 、レーザー光の波長を λ とすると、 $0.6L\lambda/D$ で与えられる。レーザービーム径は、レーザービームをハーフミラーで分岐してから計測すればよい。スペckル平均径のその他の検出方法として、スペckル画像の一部分の強度プロファイルをとって調べたり、スペckル画像の自己相関をとり、その相関値プロファイルをとって調べたりする方法が考えられる。

【0013】画像変位算出回路3に与えられる画像データは、画質改善回路2で画質改善が為されている。CCDカメラ1から出力される画像データには、CCD読み出し時のショットノイズやアナログラインでのノイズが混入している。そのため、画像変位算出回路3において、CCDカメラ1から出力される画像データをそのまま用いて演算すると、ノイズも積算されるため、積算結果 $S(u, v)$ の値の信頼性が低い。したがって、その結果を用いて回帰放物線の頂点の位置を画素の間隔以下で推定すると、ノイズに基づく誤差は非常に大きい。画質改善回路2は、CCD読み出し時のショットノイズやアナログラインでのノイズを画像データから除去するための回路であり、(2)式で示すような画像の平均化(リカーシブフィルタ)処理を実行する。

【0014】

$$V_n = V_{n-1} + (V_{in} - V_{n-1}) / N \quad \dots (2)$$

ここに、 V_n : 出力画像、 V_{n-1} : 1フレーム前の出力画像、 V_{in} : 入力画像、 N : 平均化算数である。この画像の平均化を行うことにより、画像から上述したようなランダムノイズの低減を図ることができる。

【0015】つぎに、本実施例の全体動作を説明する。図示省略したHe-Neレーザー(50mW)からのレーザー光5をコリメートして物体4に照射する。CCDカメラ1は、このレーザー光5の照射によって生じるスペckル画像を捕らえる。CCDカメラ1が撮像して得られた画像信号は、画質改善回路2で画質改善処理が施された改善画像信号に変換されて各画像処理ユニット31-34に並列入力される。1枚目の画像処理ユニット31は、マスターとして水平同期信号HDおよび垂直同期信号VDを他のスレーブとしての画像処理ユニット32-34およびCCDカメラ1に出力する。各画像処理ユニットでは、32ビットCPUからなる制御部31b-34bがハード的に画像メモリ31a-34aのアドレス発生を制御し、外部同期・内部同期の選択、水平、垂直のブランキング期間の設定を実行する。

【0016】制御回路35は、各画像処理ユニット31-34に対して、追跡するブロックの数、サイズ、位置のパラメータを制御部31b-34b内のメモリに書き込み、計測を開始させ、各画像処理ユニット31-34を並列動作させる。各画像処理ユニット31-34は、

5

(1) 式の計算をそれぞれのブロックについて実行し、終了フラグと変位の結果を特定のアドレスに書き込む。制御回路35は、各画像処理ユニット31-34から変位結果を連続して取り込み、スペックル平均径に基づく誤差を補正テーブルを用いて除去した後、変位分布、歪み分布として格納する。図4(a)は、補間法を用いて得られた変位の生データを示すグラフであり、同図(b)はそのときのスペックル平均径に応じて選択された補正テーブルを用いて補正した結果を示すグラフである。両グラフにおいて、横軸は物体の移動量(面内変位)を示し、縦軸は測定結果を画素間隔で示したものである。

【0017】なお、制御部31b-34bに、グラフィックディスプレイを目的としたCPUを用いれば、基準用の画像のブロック転送などは特定のレジスタに転送元、転送先およびサイズを書き込むことでハード的に実行できる。また、(1)式の計算はアセンブラで組むことにより処理時間の低減を図ることができる。

【0018】スペックル平均径が予め用意されている複数の補正テーブルに対応するスペックル平均径の中間の値であった場合には、最も近い補正テーブルを採用して補正するか、近くの補数の補正テーブルの平均値を計算しその結果を用いて補正することになる。これに対して、スペックル平均径の制御手段を備えておれば、所望の補正テーブルに合わせてスペックル平均径を調整することができるため、厳密な補正ができ、補正後の変位量は一層正確なものとなる。スペックル平均径の制御方法としては、レーザー光源に波長可変レーザを用いて波長を制御する方法がある。また、カメラレンズを用いる場合には、Fナンバー(絞り)を自動制御できるカメラレ

6

光学部品の位置を調整して結像倍率を制御する方法がある。カメラレンズを用いない場合には、カメラをリニアステージに載せ、これを制御して物体の角度関係を変えずに距離だけを調整する方法やレーザービームを可動式の回転アパーチャを通すことによりビーム径を調整する方法などがある。図1に示す実施例では、制御装置35がリニアステージ6、7を制御できるようになっている。

【0019】

10 【発明の効果】以上説明したように本発明のスペックル画像変位測定装置によれば、測定した変位量をスペックル平均径に対応した補正テーブルを用いて補正するので、より正確な変位を求めることができる。また、スペックル平均径の制御手段を備えておれば、所望の補正テーブルに合わせてスペックル平均径を調整することができるため、厳密な補正ができ、補正後の変位量は一層正確なものとなる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明の一実施例であるスペックル画像変位測定装置を示すブロック図。

【図2】画像変位算出回路3が2つの画像の変位(移動量)を画素間隔以下の分解能で推定する方法(補間法)を示す図。

【図3】物体の移動とスペックル画像変位の測定値との関係を示すグラフ。

【図4】物体の移動とスペックル画像変位の測定値およびその補正值との関係を示すグラフ。

【符号の説明】

1...CCDカメラ

30 2...画質改善回路

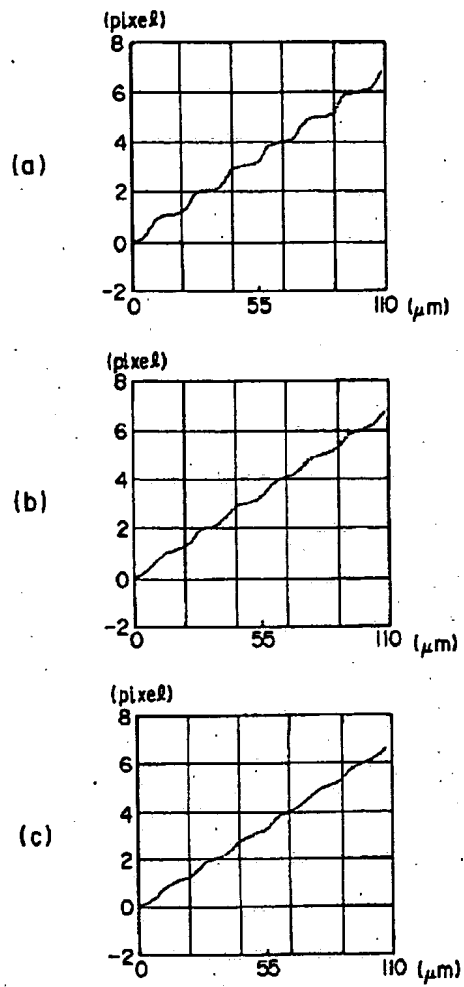
3...画像変位算出回路

5...物体

[illegible]

Figure 1 consists of four sub-diagrams labeled (a) through (d).
 (a) A 3D grid representing the current image data $D(x, y)$. A 3x3 neighborhood is highlighted with dashed lines.
 (b) A 3D grid representing the reference image data $R(x, y)$. A 3x3 neighborhood is highlighted with dashed lines.
 (c) A 3D grid representing the absolute difference between the current and reference images, labeled $\sum_i |\sum_j |D(x_i, y_j) - R(x_i, y_j)|$.
 (d) A 3D bar chart showing the difference values. A line points to the highest bar, labeled "PEAK POSITION".

【図3】



【図4】

